

Рис. 7. Схема процессов теплообмена

Организация струйного истечения нагреваемого азота и воздуха на горение топлива преследует следующие цели:

- интенсификация процессов конвективного теплообмена воздушного и азотного потоков с поверхностью теплообмена;
- охлаждение элементов конструкции устройства;
- улучшение перемешивания воздуха и топлива;
- уменьшение габаритных размеров и, как следствие, снижение затрат на изготовление устройства.

УДК 669.09

Г. А. Родионов, В. В. Бухмиров

ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА С КАМЕРНЫМИ НАСОСАМИ

Аннотация

В настоящее время существует проблема высокой энергоемкости функционирования систем пневмотранспорта сыпучих материалов. Предложена математическая модель движения двухфазных потоков мелкодисперсных материалов с учетом взаимодействия частиц, неравномерности заполнения материалопровода и турбулентности потока. Математическая модель может быть использована для расчетов движения двухфазных потоков как в трубопроводах, так и в пневмокамерных насосах, при условии учета геометрических особенностей конструкции и свойств твердого материала в неподвижном состоянии. Вы-

полнен промышленный эксперимент и получены зависимости изменения параметров разгрузки во времени.

Ключевые слова: пневмотранспорт, камерный насос, энергоэффективность, математическая модель, эксперимент.

Abstract

At the moment there is a problem of high power consumption functioning pneumatic systems for bulk materials. A mathematical model of the motion of two-phase flow of fine materials with regard to the interaction of particles, uneven filling feeding pipeline and flow turbulence. The mathematical model can be used to calculate the motion of two-phase flow in pipelines, as well as in bulk pumps, subject to the incorporation of geometric design features and properties of the solid material in a stationary state. Made industrial experiment and change the parameters obtained according to the time of discharge.

Keywords: *pneumatic, bulk pump, energy efficiency, mathematical model, experiment.*

В промышленности на долю пневмотранспорта приходится около 30 % объема работ по перемещению сыпучих грузов. В отличие от механических и ручных видов транспортировки пневматический транспорт существенно снижает трудоемкость операций, сокращает до минимума требуемое количество производственных площадей для транспортировки и промежуточного хранения сыпучих грузов, значительно уменьшает потери материала при транспортировке, а также повышает безопасность и экологичность производства.

Для разработки энергоэффективных режимов работы и конструкции камерных насосов применен метод математического моделирования. Математическое моделирование позволяет, без материальных затрат на натурные испытания, проверить влияние различных факторов на производительность КН (расход, давление, температура воздуха, конструкция и т. д.).

Математическая модель движения двухфазного потока основана на модели Эйлера [1] и состоит из системы дифференциальных уравнений:

– переноса импульса твердой фазы

$$\frac{\partial}{\partial t}(\gamma_s \rho_s w_{j,s}) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\gamma_s \rho_s w_{j,s} w_{i,s}) = -\gamma_s \frac{\partial P}{\partial x_i} - \frac{\partial P_s}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij,s}}{\partial x_j} + \gamma_s \rho_s g_i + K_{sf}(w_{i,f} - w_{i,s}); \quad (1)$$

– переноса импульса флюида

$$\frac{\partial}{\partial t}(\gamma_f \rho_f w_{j,f}) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\gamma_f \rho_f w_{j,f} w_{i,f}) = -\gamma_f \frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ij,f}}{\partial x_j} + \gamma_f \rho_f g_i + K_{fs}(w_{i,s} - w_{i,f}); \quad (2)$$

– неразрывности для твердой фазы

$$\frac{\partial}{\partial t}(\gamma_s \rho_s) + \nabla(\gamma_s \rho_s w_s) = 0, \quad (3)$$

– неразрывности для флюида

$$\frac{\partial}{\partial t}(\gamma_f \rho_f) + \nabla(\gamma_f \rho_f w_f) = 0; \quad (4)$$

– уравнение сохранения энергии

$$\frac{\partial}{\partial t}(\gamma_f \rho_f \alpha_f) + \nabla(\gamma_f \rho_f w_f \alpha_f) = -\gamma_f \frac{\partial P_f}{\partial t} + \frac{\bar{\tau}_f}{\nabla w_f} - \nabla q_f + S_f + \alpha_{fs}(T_s - T_f)F; \quad (5)$$

где $\tau_{ij,s}$ – тензор напряжений твердой фазы; $\tau_{ij,f}$ – тензор напряжений флюида; P – давление; γ – относительная объемная концентрация; ρ – плотность; w – скорость; δ – символ Кронекера; K_{fs} – коэффициент взаимодействия частиц твердой фазы с флюидом; q_f – тепловой поток; α – коэффициент теплоотдачи; S – источниковый член; F – площадь поверхности твердой фазы, индексы s и f – твердая фаза и флюид соответственно.

Адекватность математической модели проверена сравнением результатов расчета движения двухфазного потока в трубе с коленом с экспериментальными данными, опубликованными в работе [2].

В работе [2] исследовалось перемещение цемента в трубе диаметром 78 мм и длиной 4 м с радиусом поворота колена 267 мм. Для определения потерь давления по длине были установлены 5 манометров на отметках 1–5 (рис. 1).

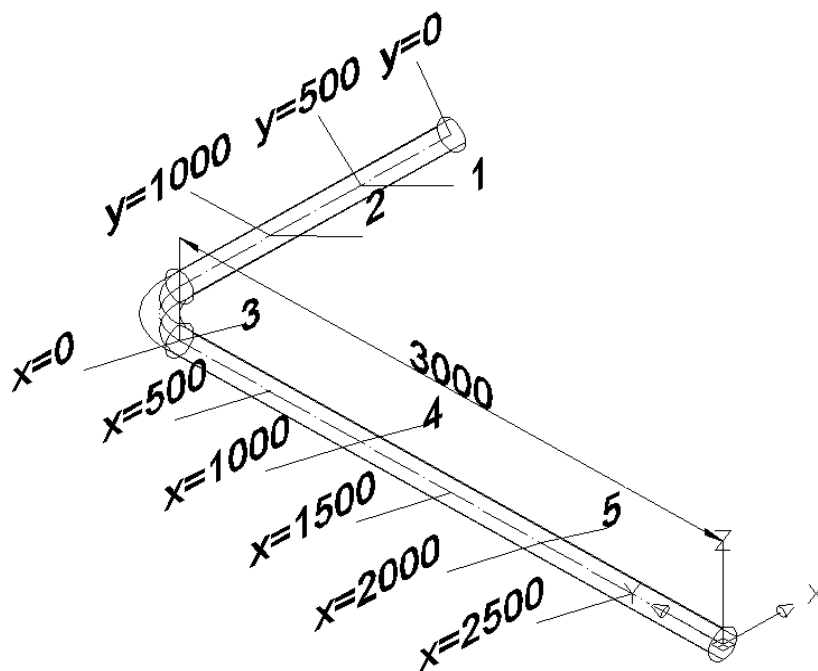


Рис. 1. Экспериментальный участок трубы

Результаты эксперимента [2] и расчета по разработанной математической модели, реализованной в пакете ANSYS Fluent, приведены на рис. 2. На рис. 2 линия 1 означает совпадение экспериментальных и расчетных данных на участках 1–2, 2–3, 3–4, 4–5 указанных на рис. 1, а линии 2 и 3 – отклонение от экспериментальных данных на 5 %. В результате сравнения максимальная погрешность расчета составила 4,55 %, что свидетельствует об адекватности математической модели движения двухфазного потока.

Также для проверки адекватности математической модели был выполнен промышленный эксперимент на ОАО «Бонолит – Строительные решения» (г. Москва).

Во время эксперимента определены следующие параметры работы камерного насоса:

- расход и температура сжатого воздуха,
- давление сжатого воздуха на входе в камерный насос,
- давление в камерном насосе,
- давление в материалопроводе на выходе из камерного насоса.

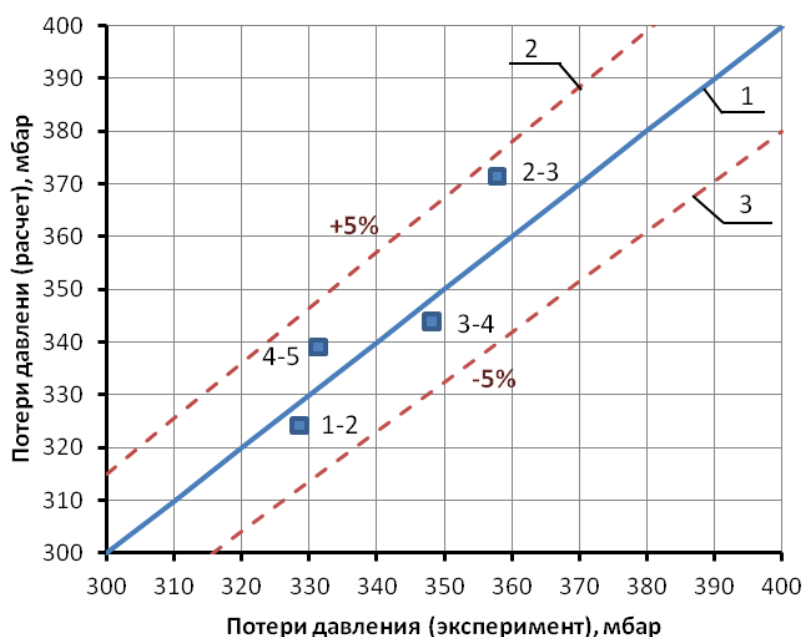


Рис. 2. Потери давления по длине трубы

Измерение расхода и температуры сжатого воздуха выполнено при помощи погружного расходомера ЕЕ 776.

Давление воздуха измерено при помощи датчиков давления Овен ПД100-ДИ 1,0-171-0,5.

Результаты эксперимента представлены на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что при пуске насоса в работу (зона 1) давление в камере резко увеличивается, что приводит к понижению температуры потока. Во время основного режима разгрузки (зона 2) давление в камере снижается за счет уменьшения толщины слоя материала. Зона 3 соответствует окончанию разгрузки камерного насоса.

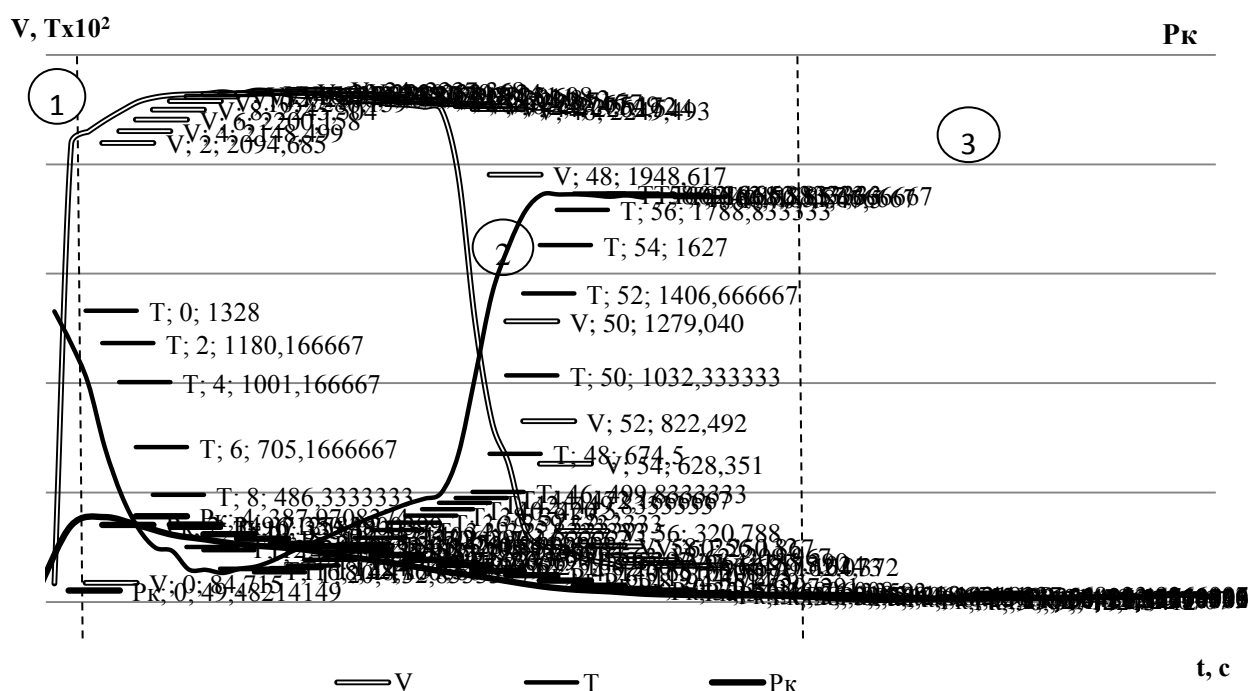


Рис. 3. Усредненные параметры цикла разгрузки монжуса НО-324МА

Выводы

1. Разработана математическая модель пневмотранспорта сыпучих материалов, учитывающая размеры частиц, сжимаемость газа, взаимодействие частиц друг с другом, с газом и стенками материалопровода. Проверена адекватность математической модели.

2. Выполнен промышленный эксперимент на ОАО «Бонолит – Строительные решения» (г. Москва). Получены экспериментальные данные о параметрах разгрузки камерного насоса.

Список использованных источников

1. ANSYS FLUENT User's Guide. Software Release Version 14. 2011. – 2498 p.
2. Chandana Ratnayake. A Comprehensive Scaling Up Technique for Pneumatic Transport Systems. – Norwegian University of Science and Technology, 2005. – 279 p.

УДК 669.13

П. А. Сеченов, А. А. Оленников, В. П. Цымбал

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ШЛАКА В ЗОННОЙ МОДЕЛИ КОЛОННОГО СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОГО РЕАКТОРА

Аннотация

В статье рассмотрена зонная модель колонного струйно-эмульсионного реактора. Основное внимание уделено процессам усвоения кусков руды при их попадании на границу шлак-металл. Модель расплавления шарообразных кусков представлена в виде последовательно нагреваемых и расплавляющихся слоев, в которых рассмотрен баланс энтальпий, необходимый для прогрева и усвоения (смыва) слоя, и поток тепла из окружающей среды, необходимый для обеспечения величины этой энтальпии. Передача тепла в куске руды происходит по следующей схеме: пока внешний слой расплавляется, следующий за ним слой нагревается. Разработаны математические модели, рассчитывающие: время расплавления кусков руды в зависимости от радиуса и динамику изменения состава шлака на границе шлак-металл при ступенчатой и импульсной подаче.

Ключевые слова: зонная модель, динамика, состав шлака, струйно-эмульсионный реактор, растворение кусков руды.

Abstract

The article has been discussed the band model column spray-emulsion reactor. Emphasis has been given to processes in which the absorption of pieces of ore as they enter the border slag-metal. Model melting spherical pieces has been represented as consistently heated and melted layers